



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift
(10) DE 42 24 744 A 1

(51) Int. Cl.⁵:
G 01 V 9/04
G 01 H 9/00
G 01 B 9/02
G 01 B 11/02
H 02 B 13/065

(21) Aktenzeichen: P 42 24 744.6
(22) Anmeldetag: 27. 7. 92
(43) Offenlegungstag: 3. 2. 94

DE 42 24 744 A 1

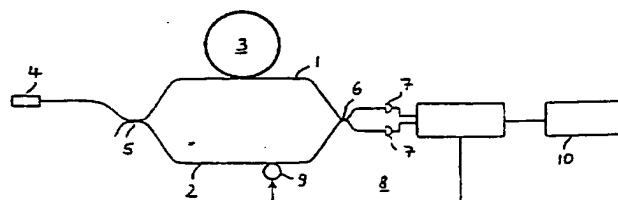
- (71) Anmelder:
ABB Research Ltd., Zürich, CH
- (74) Vertreter:
Rupprecht, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 61476 Kronberg
- (72) Erfinder:
Bohnert, Klaus, Dr., Niederrohrdorf, CH; Brändle, Hubert, Dr., Otelfingen, CH; Fruth, Bernhard, Dr., Bellikon, CH
- (56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:
- | | |
|-------|--------------|
| DE | 38 15 800 A1 |
| DE | 34 35 650 A1 |
| DE | 30 27 476 A1 |
| DE | 29 36 303 A1 |
| DE-OS | 21 33 687 |
| DE | 2 90 073 A1 |
| AT | 3 91 043 |

GB 20 20 419 A
US 49 94 668
US 44 86 657
US 41 73 412

KIST, R.;
KERSTEN, R. Th.: Faser- und integriert-optische Monomode-Sensoren: eine Übersicht. In: Laser und Optoelektronik, Nr. 1/1984, S. 17-30;
HART, H.;
PERTHEL, R.: Meßfühler für nichtoptische Meßgrößen auf optischen Prinzipien und mit optischen Ausgangssignalen (Teil 1). In: FEINGERÄTE-TECHNIK, Berlin, 32, 1983, 7, S. 312-315;

(54) Vorrichtung zur Detektion loser Metallteilchen in gasisolierten Hochspannungs-Schaltanlagen

- (57) Bei der beschriebenen Vorrichtung ist eine Sensor-Glasfaser (1) derart an einem Teil der gasisolierten Hochspannungs-Schaltanlage (3) befestigt, daß durch in der Schaltanlage vorhandene, lose und im elektrischen Wechselfeld hüpfende Metallteilchen verursachte Vibrationen Änderungen ihrer Länge zur Folge haben. Diese Längenänderungen werden mittels eines faseroptischen Interferometers (1-10) interferometrisch bestimmt, wobei die Sensorfaser (1) Teil des Interferometers ist.



DE 42 24 744 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 12. 93 308 065/57

6/48

Vorrichtung zur Detektion loser Metallteilchen in gasisolierten Hochspannungs-Schaltanlagen.

TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Detektion loser Metallteilchen in gasisolierten Hochspannungs-Schaltanlagen (GIS). In solchen Schaltanlagen können lose Metallteilchen vom elektrischen Wechselfeld angetriebene, "hüpfende" Bewegungen ausführen. Dadurch kommt es zu Feldverzerrungen, die zu Teilentladungen oder sogar zu gefährlichen elektrischen Durchbrüchen führen können.

STAND DER TECHNIK

Solche Teilentladungsvorgänge werden gewöhnlich mit elektrischen und/oder akustischen Sensoren detektiert. Elektrische Sensoren sind z. B. aus B.F. Hampton et al., IEE Proceedings, Vol. 135, Pt.C, No 2, 137 (1988) oder auch aus S.A. Boggs, IEEE Electr. Insulation Magazine, Vol. 6, 35 (1990), bekannt. Akustische Sensoren sind in L.E. Lundgaard et al., Nordic Insulation Symposium NORD-IS 1990, Lyngby, Dänemark, oder aus L.E. Lundgaard et al., IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, February 1991, beschrieben. Die elektrischen Sensoren, die entweder fest installiert sind oder nachträglich an die Anlage angeschlossen werden, registrieren die von den Teilentladungen ausgehenden Spannungsimpulse (MHz-Frequenzen). Die akustischen Sensoren werden außen an der GIS-Kapselung angebracht und detektieren im Ultraschallbereich Vibrationen der Anlage, die durch die Teilentladungen oder unmittelbar durch das aufschlagende "hüpfende" Teilchen erzeugt werden. Durch-Verwendung mehrerer akustischer oder elektrischer Sensoren ist eine Ortung der Teilentladungen möglich.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Durch die vorliegende Erfindung wird eine auf einem neuartigen Meßprinzip basierende Vorrichtung zur Detektion loser Metallteilchen in gasisolierten Hochspannungs-Schaltanlagen vorgeschlagen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist gemäß Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Sensor-Glasfaser derart an einem Teil der Schaltanlage befestigt ist, daß durch lose Metallteilchen verursachte Vibrationen des genannten Teils der Schaltanlage Änderungen ihrer Länge zur Folge haben und daß ein die Sensorfaser umfassendes faseroptisches Interferometer zur interferometrischen Messung dieser Längenänderungen vorgesehen ist. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden demnach die durch "hüpfende" Teilchen oder durch Teilentladungen hervorgerufenen Schwingungen in der GIS-Anlage auf eine Glasfaser übertragen, die an einem Teil der GIS-Anlage, vorzugsweise an einem Teil der Kapselung, in geeigneter Weise befestigt ist. Die durch die Vibrationen induzierten Längenänderungen der Glasfaser werden dann interferometrisch gemessen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung hat den Vorteil, daß sie Vibrationssignale über einen sehr großen Frequenzbereich (prinzipiell bis einige 10 MHz) mit extrem hoher Empfindlichkeit messen kann. Über weite Bereiche des Frequenzspektrums ist die Empfindlichkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung frequenzunabhängig.

Herkömmliche piezoelektrische Schwingungsdetektoren weisen gewöhnlich nur in eingeschränkten Frequenzbereichen in der Umgebung ihrer Eigenresonanz hohe Empfindlichkeitswerte auf. Mit der Sensorfaser können Vibrationen zudem nicht nur lokal gemessen werden; vielmehr können die Schwingungen eines größeren Teils der GIS-Kapselung auf die Faser übertragen werden. Die Sensorfaser ist galvanisch vom elektrischen Teil des faseroptischen Interferometers getrennt. Dadurch sind prinzipiell auch Vibrationsmessungen an Komponenten möglich, die auf Hochspannungspotential liegen. Ferner ist die erfindungsgemäße Vorrichtung im Unterschied zu den bekannten elektrischen oder akustischen inhärent immun gegenüber elektromagnetischen Störfeldern.

Bei dem faseroptischen Interferometer, von dem die Sensorfaser ein Teil ist, kann es sich gemäß Anspruch 3 um ein Faser-Michelson-Interferometer (vergl. z. B. D.A. Jackson et al., J.Phys.E:Sci.Instrum. Vo. 18, 981 (1985)), ein Faser-Fabry-Pérot-Interferometer (vergl. z. B. D.A. Jackson aaO), ein Zweimodenfaser-Interferometer (vergl. z. B. J.N. Blake et al., Opt.Lett. 12, 732 (1987)), ein Speckle-Interferometer (Multimode-Faser) (vergl. z. B. K.Chen et al., Opt.Lett. 15, 582(1990)) oder um ein Faser-Polarimeter (vergl. z. B. D.A. Jackson aaO) handeln. Vorzugsweise ist das Interferometer jedoch ein Faser-Mach-Zehnder-Interferometer (vergl. z. B. D.A. Jackson et al., Appl.Opt. 19, 2926 (1980)).

Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den übrigen abhängigen Ansprüchen gekennzeichnet.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Figuren näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 schematisch den Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2 schematisch einen Teil einer GIS-Anlage, und

Fig. 3 in zwei Frequenzdiagrammen mit einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 ermittelte Schwingungsamplituden.

WEG ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

Die in Fig. 1 dargestellte Vorrichtung ist ein faseroptisches Interferometer vom Mach-Zehnder-Typ. Sie besitzt zwei Zweige von denen einer durch eine Sensor-Glasfaser 1 und der zweite durch eine Referenz-Glasfaser 2 gebildet wird. Die Sensorfaser ist mit einem Teil ihrer Länge an der Kapselung einer GIS-Anlage 3 befestigt. Das Licht einer Laserdiode 4 ist über einen ersten Strahlteiler 5 in die beiden Zweige des Interferometers eingekoppelt. In einem zweiten Strahlteiler 6 wird das Licht aus beiden Zweigen zur Interferenz gebracht. An die beiden Ausgänge des Strahlteilers 6 sind Detektoren 7 angeschlossen. Die Bandbreite der Detektoren muß mindestens ebenso groß sein wie der zu untersuchende akustische Frequenzbereich. Die Detektoren 7 erzeugen an ihrem Ausgang eine zur Lichtintensität an ihrem Eingang proportionale Spannung. Die beiden Detektorspannungen sind gegeben durch

$$\begin{aligned} U_1 &= U_0(1 + v \cos \Phi(t)), \\ U_2 &= U_0(1 - v \cos \Phi(t)), \end{aligned}$$

mit $\Phi(t) = S(t) + (\varphi(t))$. U_0 ist proportional zur Laserdiodenleistung.

denintensität. Mit v ist der Intensitätskontrast bezeichnet ($v \leq 1$). Der Phasenunterschied $\Phi(t)$ zwischen den beiden interferierenden Wellen setzt sich zusammen aus einem Anteil $S(t)$, der durch Vibrationen der GIS-Kapselung hervorgerufen wird und einem willkürlichen Phasenterm ϕ , der sich z. B. infolge von temperaturbedingten Fluktuationen der Faserlänge l ebenfalls zeitlich ändern kann. Die Phasenänderung

$$S(t) = \beta \Delta l + l \Delta \beta$$

setzt sich zusammen aus einem Anteil $\beta \Delta l(t)$, der unmittelbar durch die vibrationsbedingte Längenänderung $\Delta l(t)$ der Sensorfaser 1 hervorgerufen wird und einem zweiten Anteil $l \Delta \beta(t)$, der mit der Änderung der Propagationskonstanten β als Folge des elasto-optischen Effektes verknüpft ist (vergl. hierzu auch R. de Paula et al., SPIE Vol. 478 Fiber Optic and Laser Sensors II (1984), p3-11).

Der elasto-optische Effekt beschreibt die Änderung des Brechungsindex der Faser und damit der Propagationskonstanten, die bei einer Faserdehnung oder -stauchung auftritt. Die beiden Terme $\beta \Delta l$ und $l \Delta \beta$ haben entgegengesetztes Vorzeichen. Dem Betrag nach ist der Term $\beta \Delta l$ dominierend. Um $S(t)$ zu detektieren eignet sich ein Detektionsverfahren mit aktiver Kontrolle des Interferometer-Arbeitspunktes (vergl. hierzu auch D. A. Jackson et al., Appl. Opt. 19, 2926 (1980)). Ein Regelkreis 8 mit einem auf die Referenzfaser längenverändernd einwirkenden piezoelektrischen Phasenmodulator 9 hält die Differenz

$$U_1 - U_2 = 2v \cos \Phi,$$

für kleine Frequenzen (< 10 Hz) auf Null und damit den Phasenunterschied ϕ auf

$$\phi = \pm (\pi/2) \text{ (Modulo } 2\pi).$$

Die Differenz der Detektorausgangsspannungen ist dann direkt proportional zu $S(t)$, solange $S(t) \ll \pm \pi/2$ ist. Der Term $S(t)$ wird mit einem Signalanalysator 10 spektral analysiert.

Der Ort der Befestigung der Sensorfaser an der GIS-Anlage entspricht vorzugsweise dem Ort maximaler Vibrationsamplitude. Dieser und die für eine ausreichende Empfindlichkeit erforderliche Länge der Faser kann ggf. durch Versuche aufgefunden werden.

Bei der in Fig. 2 schematisch dargestellten GIS-Anlage ist die Kapselung mit 11, die Hochspannungselektrode mit 12 und die auf Erdpotential liegende Grundplatte mit 13 bezeichnet. 14 bezeichnet ein zu detektierendes loses Metallteilchen und 15 den an der Kapselung 11 befestigten Abschnitt einer Sensorfaser.

Fig. 3a zeigt ein mit einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 aufgenommenes Frequenzdiagramm, ermittelt an einer GIS-Anlage gemäß Fig. 2. Als zu detektierende Metallteilchen wurden 3-4 μm schwere Aluminiumspäne verwendet und auf der in Fig. 2 mit 13 bezeichneten Grundplatte durch ein Hochspannungs-Wechselfeld zum Hüpfen angeregt. Die Grundplatte 13 stand dabei in mechanischem Kontakt mit der GIS-Kapselung 11. In Fig. 3a (70 kV_{rms}, 1 hüpfendes Teilchen) sind zwei signifikante Signalpeaks zu erkennen. Bei dem zu Vergleichszwecken aufgenommenen und in Fig. 3b dargestellten Frequenzdiagramm ohne lose Teilchen (80 kV_{rms}) fehlen diese Peaks. Die Amplitude der Signalpeaks von Fig. 3a beträgt etwa 2 μV_{rms} , was einer Längenänderung der Sensorfaser von etwa $6 \cdot 10^{-12}$ m rms entspricht.

ansprüche

1. Vorrichtung zur Detektion loser Metallteilchen (14) in gasisolierten Hochspannungs-Schaltanlagen (11, 12, 13), dadurch gekennzeichnet, daß eine Sensor-Glasfaser (1, 15) derart an einem Teil der Schaltanlage (11) befestigt ist, daß durch lose Metallteilchen (14) verursachte Vibrationen des genannten Teils der Schaltanlage Änderungen ihrer Länge zur Folge haben und daß ein die Sensorfaser (1) umfassendes faseroptisches Interferometer (1-10) zur interferometrischen Messung dieser Längenänderungen vorgesehen ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorfaser (1) an einem Teil der Kapselung (11) der gasisolierten Schaltanlage (11, 12, 13) befestigt ist.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das faseroptische Interferometer ein Faser-Michelson-Interferometer, ein Faser-Fabry-Perot-Interferometer, ein Zweimodenfaser-Interferometer, ein Speckle-Interferometer (Multimode-Faser), ein Faser-Polarimeter, vorzugsweise jedoch ein Faser-Mach-Zehnder-Interferometer (1-10) ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorfaser (1) einen der beiden Zweige eines faseroptischen Mach-Zehnder-Interferometers (1-10) bildet, welcher darüberhinaus eine Laser-Lichtquelle (4), einen eingangsseitigen (5) und einen ausgangsseitigen Strahlteiler (6), eine Referenzfaser (2), zwei Detektoren (7), einen Regelkreis (8) zur Arbeitspunkt-kontrolle mit einem piezoelektrischen Phasenmodulator (9) sowie einen Signalanalysator (10) umfaßt, wobei die Referenzfaser (2) den zweiten Zweig des Interferometers bildet, wobei das Licht von der Lichtquelle (4) über den eingangsseitigen Strahlteiler (5) in die beiden Zweige und über den ausgangsseitigen Strahlteiler (6) aus diesen ausgekoppelt und den beiden Detektoren (7) zugeführt ist, wobei die beiden Detektoren (7) jeweils eine zur Lichtintensität an ihrem Eingang proportionale Spannung an ihrem Ausgang abgeben, wobei der piezoelektrische Phasenmodulator (9) auf die Referenzfaser (2) längenveränderlich einwirkt, wobei der Regelkreis (8) die Differenz der beiden Detektorspannungen auf Null regelt und wobei dem Signalanalysator (10) das Regelsignal des Regelkreises als spektral auszuwertendes Eingangssignal zugeführt ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Regelsignal mit dem Signalanalysator (10) im Frequenzbereich zwischen 10 Hz und 10 MHz auf Intensitätsmaxima hin analysiert wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

*

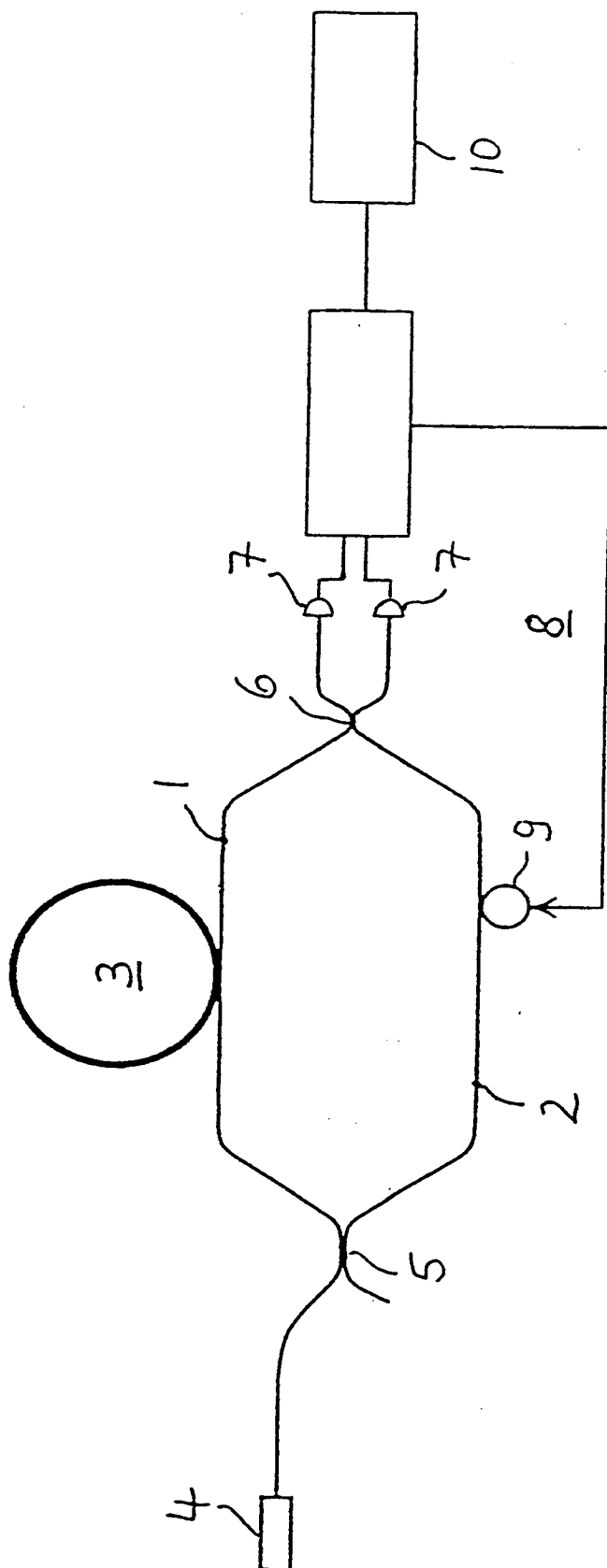


Fig. 1

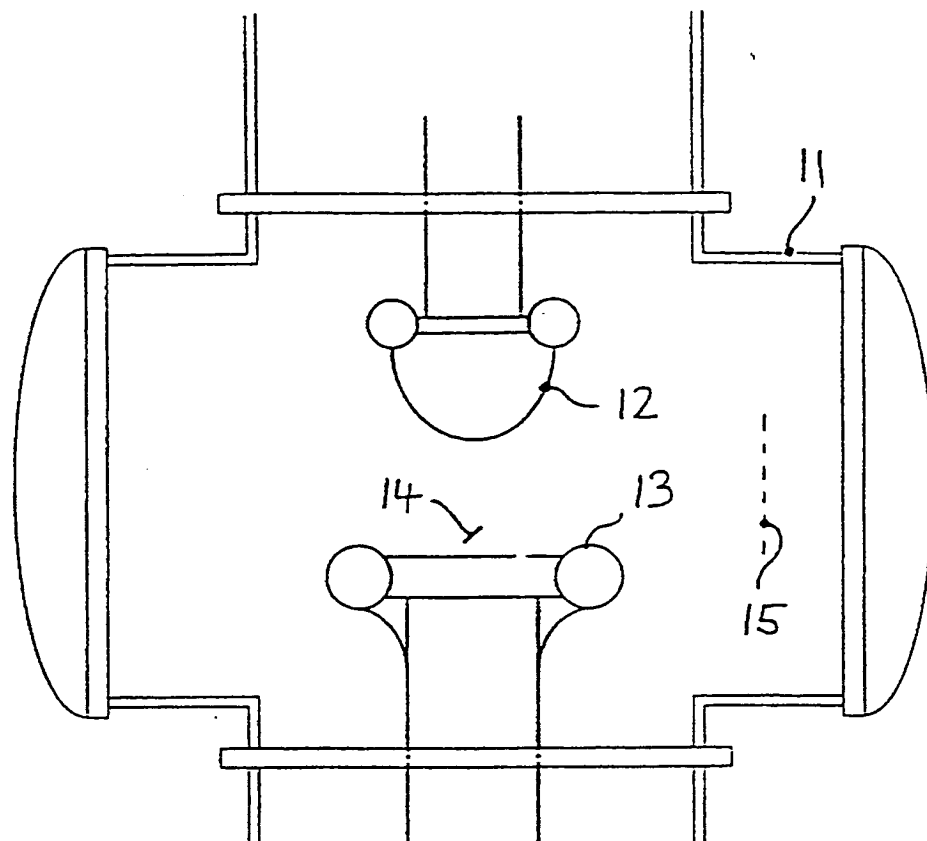


Fig. 2

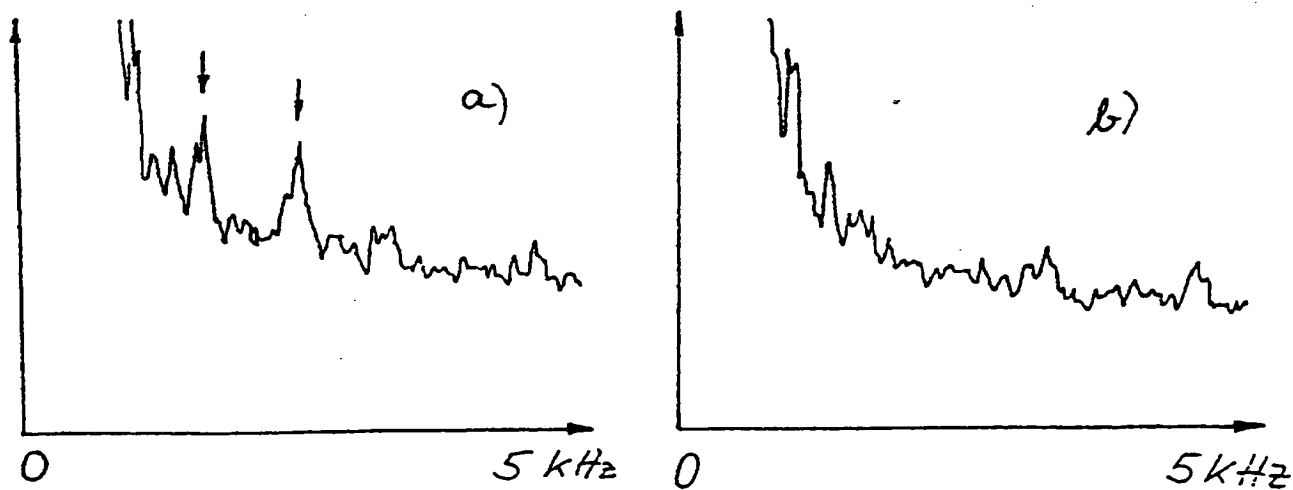


Fig. 3